不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡生长性能、肠道黏膜形态结构和血清指标的影响

胡贵丽 叶小飞 王玉诗 范志勇 张石蕊 贺 喜*

（湖南农业大学动物科学技术学院，饲料安全与高效利用教育部工程研究中心，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128）

摘 要：本试验旨在研究不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡生产性能、免疫器官指数、肠道黏膜形态结构及血清生化和抗氧化指标的影响。试验选取 350 羽 1 日龄体重相近的健康黄羽公鸡，随机分为 7 个组，每组 5 个重复，每个重复（栏）10 只鸡。各组分别饲喂 7 种不同饲粮：基础饲粮（对照），分别以美国高粱、湖南高粱、内蒙古高粱替代基础饲粮中 30%玉米，分别以美国高粱、湖南高粱、内蒙古高粱替代 50%玉米。试验全期 56 d，分为前期（1～28 日龄）、后期（29～56 日龄）2 阶段进行。结果表明：1）与对照组相比，3 种不同来源高粱以 30%、50%比例替代玉米对黄羽肉鸡生长性能无不良影响。2）湖南高粱替代 50%玉米腹脂率较对照组显著提高（P<0.05），其他各屠宰性能指标各组间均无显著差异（P>0.05）。3）前期各组十二指肠的绒毛高度、隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度(V/C)值，空肠的绒毛高度、V/C 值，回肠的肠绒毛高度、隐窝深度均无显著差异（P>0.05）;与对照组相比，美国高粱替代 50%玉米显著提高了回肠 V/C 值（P<0.05）。4）前期，随着内蒙古高粱和湖南高粱替代玉米的比例升高，血清中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性略有下降趋势（P>0.05）;后期，随着内蒙古高粱和湖南高粱替代玉米的比例升高，血清总抗氧化能力（T-AOC）提高，50%替代时极显著提高（P<0.01）。综上所述，在本试验中不同类型高粱替代玉米对黄羽肉鸡生产性能无不利影响，综合肠道黏膜形态结构及血清抗氧化指标认为内蒙古高粱替代 50%玉米效果最佳。

关键词：黄羽肉鸡；高粱；生长性能；屠宰性能；肠道黏膜形态结构；血清指标

中图分类号：S816

收稿日期：2016-01-01

基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0501209）；2014 科技部科技基础性工作专项（2014FY111000-3）

作者简介：胡贵丽（1993-），女，贵州遵义人，硕士研究生，研究方向为单胃动物营养生理。E-mail: 1104969633@qq.com

*通信作者：贺 喜，教授，硕士生导师，E-mail: hexi111@126.com

高粱具有耐贫瘠、耐旱、耐盐碱、耐涝等能力，适合在干旱、半干旱、低洼易涝地区进行种植[1]。在我国高粱种植广泛，产量高，作为能量型饲料原料价格较玉米更低廉[2-4]。而目前，我国大宗能量饲料资源相对短缺，若能合理利用高粱则可在较大程度上缓解饲用玉米的不足。高粱在畜禽养殖中已经被广泛应用，相关的研究也很多。Truong 等[5]研究#3 和#5 高粱对肉鸡生长性能、养分利用率的影响，结果表明，饲喂#3 高粱组的肉鸡体增重、饲料转换率、表观代谢能（AME）、代谢能（ME）:总能（GE）和真表观代谢能（AMEn）较#5 高粱组均有所提高。Issa 等[6]研究高粱替代玉米对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响，结果显示，高粱替代玉米对肉鸡平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）、料重比（F/G）和屠宰率没有显著影响。因而不同品种的高粱的营养成分的含量也存在差异，在不同的替代水平下对动物的生长也会产生不一样的影响。为此，本试验以美国高粱、湖南高粱和内蒙古高粱等比例替代玉米饲喂黄羽肉鸡，探索其对肉鸡生产性能、免疫器官指数、肠道黏膜形态结构及血清生化和抗氧化指标的影响，为高粱在饲料工业中的广泛应用提供参考和理论依据，同时也为降低饲料及饲养成本，缓解饲料原料特别是饲用玉米资源紧缺的现状提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验动物与材料

试验动物：黄羽肉公鸡 350 羽，购自湖南大地禽业公司。

试验所用的美国高粱购于岳阳港口；湖南高粱购于湖南当地农户；内蒙古高粱是由采购自内蒙古。

1.2　试验动物与分组

选择遗传背景相同、同批次、发育正常的 1 日龄健康黄羽肉公鸡 350 羽，随机分为 7 组（Ⅰ~Ⅶ组），每组 5 个重复，每个重复 10 羽。各组鸡初始体重无显著差异（P>0.05）。试验期为 56 d，分为前期（1～28 日龄）、后期（29～56 日龄）2 阶段进行。

试验采用单因素随机试验设计，Ⅰ组（对照组）饲喂基础饲粮，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组分别饲喂用美国高粱、湖南高粱、内蒙古高粱替代 30%玉米的饲粮，Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组分别饲喂用美国高粱、湖南高粱、内蒙古高粱替代 50%玉米的饲粮。试鸡采用粉料饲喂。

1.3　试验饲粮

基础饲粮参考 NRC（1994）和《鸡饲养标准》(NY/T 33-2004)选用玉米、豆粕、小麦麸等原料配制而成。试验饲粮组成及营养水平见表 1，3 种高粱总能和主要养分含量见表 2。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1～28 日龄 1 to 28 days of age			29～56 日龄 29 to 56 days of age		
	Ⅰ	Ⅱ~Ⅳ	Ⅴ~Ⅶ	Ⅰ	Ⅱ~Ⅳ	Ⅴ~Ⅶ
原料 Ingredients						
玉米 Corn	66.00	46.20	33.00	66.40	46.48	33.20
高粱 Sorghum		19.80	33.00		19.92	33.20
小麦麸 Wheat bran	1.20	0.50	0.10	1.30	0.40	0.10
豆粕 Soybean meal	26.00	26.30	26.60	26.30	26.70	26.90
鱼粉 Fish meal	2.00	2.00	2.00			
豆油 Soybean oil	1.10	1.50	1.70	2.40	3.00	3.30
石粉 Limestone	1.20	1.18	1.06	1.05	1.00	0.80
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.20	1.20	1.20	1.00	0.95	0.93
70% *L*-赖氨酸盐酸盐 70% *L*-Lys HCl	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.14	0.16	0.18	0.10	0.10	0.12
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Premix[1)]	0.70	0.70	0.70	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrition levels[2)]						
代谢能 ME/（MJ/kg）	12.23	12.16	12.11	12.54	12.54	12.52
粗蛋白质 CP	20.05	20.01	20.03	19.04	19.01	19.01
钙 Ca	1.01	1.02	0.92	0.77	0.78	0.78
总磷 TP	0.60	0.62	0.64	0.51	0.53	0.55
有效磷 AP	038	038	038	029	0.28	0.28
赖氨酸 Lys	1.16	1.15	1.15	1.07	1.06	1.06
蛋氨酸 Met	0.48	0.49	0.51	0.41	0.40	0.42
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.82	0.82	0.83	0.75	0.73	0.73

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets:Cu 25mg,Fe 96mg,Zn 98 mg,Mn 105mg,I 0.9mg,Se 0.4mg,VA 15 750 IU,VD 4 725 IU,VE 18.9 mg,VK 4.635 mg,VB_1 3.09 mg,VB_2 9.45 mg,VB_6 4.635 mg,VB_{12} 0.018 54 mg,烟酸 niacin 30.9 mg,生物素 biotin 0.063 mg,泛酸 pantothenic acid 15.45 mg,叶酸 folic acid 0.927 mg,植康素 300 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

表 2　3 种高粱总能和主要养分含量（风干基础）

Table 2　GE and major nutrient contents of three kinds of sorghum (air-dry basis)　　%

项目 Items	总能 GE/(MJ/kg)	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	粗纤维 CF	无氮浸出物 NFE	干物质 DM	单宁 Tannins
美国高粱 American sorghum	15.79	8.27	2.75	1.62	2.26	72.16	87.06	0.31
湖南高粱 *Hunan* sorghum	15.82	9.92	3.69	1.47	2.01	71.00	88.09	1.38

内蒙古高粱 Inner Mongolia sorghum	16.63	7.81	3.56	2.75	3.03	70.84	87.99	1.10

营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.4　饲养管理

试鸡采用复层式笼养，人工持续光照制度，保持正常温度，育雏时采用红外灯供暖，1~7 日龄 35~36 ℃、8~14 日龄 28~31 ℃，15~56 日龄根据具体情况控制温度。鸡舍自然通风，定期打扫舍内卫生，相对湿度保持在 55%~65%，自由饮水、采食，按常规免疫。

1.5　测定指标及方法

1.5.1　生长性能

试验期内观察试鸡生长和健康状况，按重复记录饲料消耗量，并于试鸡 29、57 日龄时空腹 8 h 后称重，记录各组试鸡的末体重（FBW），计算各组试鸡的 ADFI、ADG 和 F/G。

1.5.2　屠宰性能

于试鸡饲养试验 57 日龄时，分别从各组每个重复选择 1 只接近该组平均体重的试鸡，屠宰后测定各项屠宰性能，参考中华人民共和国农业行业标准 NY/T823-2004《家禽生产性能名次术语和度量统计方法》。

1.5.3　肠道形态学指标

于试鸡饲养试验的29日龄时，分别从各组每个重复选择1只接近该组平均体重的试鸡，屠宰后取出肠道，立即分离十二指肠、空肠、回肠，取肉鸡十二指肠、空肠、回肠中段各2 cm左右，并用生理盐水轻轻洗净，再用滤纸吸干残余水分后，置于10%甲醛磷酸缓冲液中固定。接着再将固定的标本经脱水→透明→浸蜡→包埋→修块→切片→展片→常规苏木精-伊红（HE）染色等处理后，制成石蜡切片。之后用显微镜在40倍、100倍下随机选择多个非连续性视野观察切片，并挑选典型视野拍摄成图片，用YLE-21DY显微成像系统的自带图像分析软件IMAGEEX进行观察测量，测定肠绒毛高度、隐窝深度，并计算绒毛高度/隐窝深度(V/C)值。

1.5.4　血清生化及抗氧化指标

于试鸡饲养试验 29、57 日龄清晨（试鸡先空腹 8 h）分别从各组每个重复选择 1 只接近该组平均体重的试鸡，进行颈部放血，取 6 mL 血液置于 10 mL 离心管中，待其自然凝固 0.5 h 后，以 3 000 r/min 离心 15 min 分离血清，收集离心管上层血清分装，于-20 ℃下保存，以测定相关生化、抗氧化指标。

用迈瑞 BS 200 全自动生化分析仪测定血清中碱性磷酸酶（ALP）活性、尿酸（UA）含量，严格按照相关试剂盒说明书进行操作。用美国 Thermo Eisher 公司酶标仪测定血清中总抗氧化能力（T-AOC）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性，严格按照相关试剂盒说明书进行操作。

1.5.5 经济效益分析

根据各组的生产性能数据结合实时饲料及市场价格，分析各组的理论经济效益。

1.6 数据处理与统计分析

试验数据用 Excel 2007 软件进行初步处理后，采用 SPSS 17.0 软件的 one-way ANOVA 程序进行系统分析，若组间差异显著，则采用 Duncan 氏法进行多重比较，以 $P<0.05$ 为差异显著性判断标准。试验结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 添加不同来源不同水平的高粱对黄羽肉鸡生长性能的影响

由表 3 可知，试验前期（1～28 日龄），各试验组的ADG和ADFI均高于对照组。与对照组相比，湖南高粱（Ⅲ组）、内蒙古高粱替代 30%玉米（Ⅳ组）和美国高粱替代 50%玉米（Ⅴ组）均可显著提高ADG($P<0.05$)。与对照组相比，湖南高粱（Ⅲ组）、内蒙古高粱替代 30%玉米（Ⅳ组）和内蒙古高粱替代 50%玉米（Ⅶ组）ADFI极显著提高（$P<0.01$），且湖南高粱（Ⅲ组）、内蒙古高粱替代 30%玉米（Ⅳ组）的ADFI分别比美国高粱替代 30%玉米（Ⅱ组）显著提高了 7.23%、6.27%（$P<0.05$）。各组的F/G无显著差异（$P>0.05$）。

试验后期（29～56 日龄），与对照组相比，美国高粱分别替代 30%玉米（Ⅱ组）、50%玉米（Ⅴ组）和内蒙古高粱分别替代 30%玉米（Ⅳ组）、50%玉米（Ⅶ组）ADG有所上升，而湖南高粱替代 30%（Ⅲ组）和 50%玉米(Ⅵ组)ADG却下降，但各组间无显著性差异（$P>0.05$）。各试验组的ADFI较对照组均极显著提高（$P<0.01$）。试验各组的F/G较对照组有所上升，但差异不显著（$P>0.05$）。

在整个试验期（1～56 日龄），与对照组相比，各试验组中ADG略有提高，但差异不显著（$P>0.05$），ADFI极显著提高（$P<0.01$）。与对照组相比，湖南高粱替代 50%玉米F/G显著提高（$P<0.05$），其余各试验组均有所提高，但差异不显著（$P>0.05$）。

2.2 屠宰性能

由表 4 可知，各组间的屠宰率基本保持一致的水平。与对照组相比，各试验组全净膛率有所上升，但差异不显著（$P>0.05$）。各组胸肌率无显著差异（$P>0.05$）。与对照组相比，各试验组腿肌率略有下降，但差异不显著（$P>0.05$）。与对照组相比，湖南高粱替代 50%玉米腹脂率显著提高（$P<0.05$），而其余各试验组虽略有上升，但差异不显著（$P>0.05$）。

2.3　肠道黏膜形态学结构

由表 5 可知，前期各组十二指肠的绒毛高度、隐窝深度和V/C值，空肠的绒毛高度、V/C值，回肠的肠绒毛高度、隐窝深度均无显著差异（$P>0.05$）。与对照组相比，美国高粱替代50%玉米显著提高了回肠V/C值（$P<0.05$），其余各组均无显著差异（$P>0.05$）。

2.4　血清生化和抗氧化指标

由表 6 可知，前期（1~28 日龄），美国高粱替代 50%玉米（Ⅴ组）肉鸡血清中GSH-Px活性显著高于湖南高粱（Ⅵ组）、内蒙古高粱替代 50%玉米（Ⅶ组）（$P<0.05$），分别提高了 70.12%、66.21%；内蒙古高粱替代 30%玉米（Ⅳ组）肉鸡血清中GSH-Px活性显著高于湖南高粱替代 50%玉米（Ⅵ组）（$P<0.05$），提高了 48.99%。后期（29~56 日龄），湖南高粱（Ⅵ组）、内蒙古高粱替代 50%玉米（Ⅶ组）血清T-AOC较对照组分别极显著提高了 46.87%、41.22%（$P<0.01$），较美国高粱替代 30%玉米（Ⅱ组）分别极显著提高了 48.55%、42.37%（$P<0.01$），且湖南高粱替代 50%玉米（Ⅵ组）显著高于内蒙古高粱替代 30%玉米(Ⅳ组)和美国高粱替代 50%玉米（Ⅴ组）（$P<0.05$）。各组肉鸡血清中ALP活性和UA含量差异不显著（$P>0.05$）。

2.5　经济效益分析

由表 7 可知，试验组较对照组的利润均有不同程度的提高，其中，美国高粱替代 50%玉米（Ⅴ组）和内蒙古高粱替代 50%玉米（Ⅶ组）增幅最大，分别达到 27.29%和 26.66%。

3　讨　论

3.1　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡生产性能的影响

玉米作为能量饲料的饲用价值高，适口性好，动物消化代谢率高，但是近年来随着饲料行业对玉米需求的逐步攀升，致使供应紧张，而高粱的营养价值与玉米非常接近，具有作为畜禽能量型饲料原料替代玉米使用的潜能[7]。如Ahmed等[8]研究不同水平的高粱替代玉米对肉鸡生长性能的影响发现高水平的替代量能显著增加试鸡ADG和ADFI，且对F/G无显著影

响；又如Bulus等[9]在尼日利亚用高粱完全替代玉米进行试验发现，完全饲喂高粱对Marshal肉鸡ADG、ADFI、养分利用率和F/G等均无不利影响。不过，亦有报道认为饲粮中用高粱替代玉米会对肉鸡生长性能产生一定的不利影响。如Sharif等[10]研究发现，用等比例的高粱替代玉米会对肉鸡生长性能产生一定负作用。这可能是受高粱中单宁的影响所造成的。本试验结果表明，3 种不同来源高粱以 30%、50%比例替代玉米对黄羽肉鸡生长性能均无不良效果，有些甚至具有改善作用。就试验全期来看，替代 30%玉米的 3 种高粱试验组ADG提高范围在 3.38%～4.92%，ADFI提高范围在 7.91%～8.67%，替代 50%玉米的 3 种高粱试验组ADG提高范围则在 1.23%～7.38%，ADFI提高范围在 7.16%～10.05%，同时各试验组试鸡F/G较对照组亦均有所增高。说明在本试验条件下，选用 3 种不同来源的高粱按 50%以内的比例替代玉米均能促进黄羽肉鸡的采食及生长，节约生产成本。

3.2　不同来源的高粱替代玉米对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

屠宰性能是反映畜禽产肉能力的重要指标。大量研究表明，家禽的屠体性状与其活体的品质有着直接的关系，在大多数发达国家中，屠体性能被直接制定在鸡肉标准中，也是唯一一个与营养价值并列的重要指标[11]。而本试验结果显示，各试验组肉鸡的屠宰率均在 80%以上，全净膛率均在 60%以上，这表明这几组肉鸡的产肉性能均良好。用高粱替代玉米比例在 50%以下时，试验组肉鸡屠宰率、全净膛率、胸肌率、腿肌率指标较对照组没有显著变化。而 50%湖南高粱替代玉米组腹脂率较照组显著提高外，其余各试验组均无显著差异。这与Stringhini等[12]和Garcia等[13]研究结果类似。

3.3　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡肠道黏膜形态结构的影响

绒毛高度的增加会使小肠与养分接触面积增大，利于吸收；隐窝深度变浅则表明上皮细胞生成率降低，成熟率上升，分泌功能增强，V/C值则综合反映小肠功能状况，值上升，证明黏膜结构改善，使单位面积中绒毛细胞数上升，消化吸收能力增强，反之证明肠道的吸收能力减弱[14]。本试验结果显示，前期，各试验组黄羽肉鸡小肠绒毛的生长没有受到影响，且替代 50%玉米的美国高粱组回肠V/C值显著高于对照组，这与Thomas等[15]和Torres等[16]的报道相似。而Torres等[16]的研究同时发现用 50%的高粱代替玉米，试鸡空肠和回肠的隐窝细胞分裂指数显著高于对照组，然而用 100%高粱替代玉米到 42 日龄时对小肠的黏膜和生产性能均产生了不利的影响。而Nyamambi等[17]同时发现随饲粮中单宁水平的提高，小肠绒

毛高度会减少。说明高粱替代玉米超过一定的量时，单宁就会对肠道产生不利的影响。本试验结果显示，在 50%以内用高粱替代玉米并不会抑制黄羽肉鸡小肠绒毛的生长。

3.4　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡血清生化和抗氧化指标的影响

GSH-Px是生物机体重要的抗氧化酶，能清除体内过氧化物的能力，在机体抗氧化防御系统发挥重要作用。T-AOC是衡量机体抗氧化能力的综合指标，血清T-AOC的高低表示机体氧化酶系统和非酶系统对外来刺激的代偿能力及机体内自由基代谢的状况[18]。富含于胞浆中的ALP大部分来源于肝脏与骨骼，因此血清ALP活性常作为检测肝脏和骨骼代谢状况的指标之一。UA是家禽蛋白质代谢的终产物，能反映动物机体内蛋白质代谢、氨基酸的平衡以及动物机体中肾脏的健康情况。本试验结果表明，前期，各试验组血清GSH-Px的活性较对照组没有显著差异，而替代量为 50%时，美国高粱组血清GSH-Px的活性较湖南高粱组、内蒙古高粱组显著提高。这可能是前期试鸡还没发育完全，而几种饲料中美国高粱单宁含量较低，在相同替代比例下，用美国高粱组饲粮饲喂试鸡时，使血清GSH-Px的活性提高。而湖南高粱组和内蒙古高粱组中的单宁含量过高，发挥更多的是抑制作用。后期，各组中血清ALP活性、UA含量无显著差异，这与Manwar等[19]报道结果较一致。而血清T-AOC会随着内蒙古高粱和湖南高粱替代玉米的比例升高而升高。分析原因，可能是由于高粱中含有复杂的单宁酚类化合物，其部分可溶于水并具有很强的抗氧化性能[20]。

3.5　经济效益分析

本试验结果表明，3 种高粱分别以 30%、50%比例替代玉米各试验组饲喂黄羽肉鸡，可以不同程度提高黄羽肉鸡的生产性能趋势、增加上市体重、缩短上市时间、不影响肉鸡健康状况。与对照组相比，经济效益均得到提高，提高幅度较高的为美国高粱替代 50%玉米组和内蒙古高粱替代 50%玉米组。国家粮油信息中心报道高粱的需求量逐年升高[3]。据刁银生等[4]报道高粱市场价格低于玉米。通过以上可以看出，在饲粮用高粱替代玉米，节约饲料成本，在一定程度上提高经济效益。

4　结　论

①不同来源高粱以 30%、50%比例替代玉米后均获得了与玉米相当甚至更好的生长与屠宰性能结果，说明在黄羽肉鸡饲粮中，以高粱（部分）替代玉米极具可行性，且在本试验条件下，以内蒙古高粱替代 50%玉米的生产性能综合效果最佳。

②不同来源高粱不同比例地替代玉米对试鸡免疫器官指数和肠道黏膜形态结构发育未产生较大影响，鸡只表现健康，同时还能节约成本。

参考文献：

[1] 田晓红,谭斌,谭洪卓,等.我国主产区高粱的理化性质分析[J].粮食与饲料工业,2009(4):10–13.

[2]申瑞玲,陈明,任贵兴.高粱淀粉的研究进展[J].中国粮油学报,2012,27(7):123–128.

[3] 国家粮油信息中心.2014 年 12 月国内外大宗饲料原料市场分析[J].中国饲料,2015(2):6–9.

[4]习银生,杨丽.我国玉米宏观调控政策的成效、问题与建议[J].中国食物与营养,2015,21(2):5–9.

[5]TRUONG H H,NEILSON K A,MCINERNEY B V,et al.Performance of broiler chickens offered nutritionally-equivalent diets based on two red grain sorghums with quantified kafirin concentrations as intact pellets or re-ground mash following steam-pelleting at 65 or 97 ℃ conditioning temperatures[J].Animal Nutrition,2015,1(3):220–228.

[6] ISSA S,JARIAL S,BRAH N,et al.Use of sorghum on stepwise substitution of maize in broiler feeds in Niger[J].Livestock Research for Rural Development,2015,27(10):1–6.

[7] GUALTIERI M,RAPACCINI S.Sorghum grain in poultry feeding[J].World's Poultry Science Journal,1990,46(3):246–254.

[8] AHMED M A,DOUSA B M,ATTI K A A A.Effect of substituting yellow maize for sorghum on broiler performance[J].Journal of World’s Poultry Research,2013,3(1):13–17.

[9] BULUS E D,IBE E A,DODO S T,et al.Performance of broiler chickens fed two varieties of guinea corn and millets as replacement for maize[J].Iranian Journal of Applied Animal Science,2014,4(3):541–547.

[10]SHARIF M,IDREES M,TAUQIR N A,et al.Effect of water treatment of sorghum on the performance of broiler chicks[J].South African Journal of Animal Science,2012,42(2):189–194.

[11] 林谦,戴求仲,蒋桂韬,等.不同赖氨酸水平日粮对 49-70 日龄临武鸭屠宰性能的影响[J].中国饲料,2014(1):23–25.

[12]STRINGHINI J H,ARANTES U M,LABOISSIÈRE M,et al.Performance of broilers fed sorghum and full-fat corn germ meal[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2009,38(12):2435–2441.

[13]GARCIA R G,MENDES A A,ANDRADE C D,et al.Evaluation of performance and gastric parameters of broiler chickens fed diets formulateds with sorghum with and no tannin[J].Ciência E Agrotecnologia,2005,29(6):1248–1257.

[14]林谦,戴求仲,宾石玉,等.饲粮添加益生菌与酶制剂对黄羽肉鸡生长性能的影响及相关机理[J].动物营养学报,2012,24(10):1955–1965.

[15]THOMAS D V,RAVINDRAN V.Effect of cereal type on the performance,gastrointestinal tract development and intestinal morphology of the newly hatched broiler chick[J].The Journal of Poultry Science,2008,45(1):46–50.

[16]TORRES K A A,PIZAURO P J, Jr,SOARES C P,et al.Effects of corn replacement by sorghum in broiler diets on performance and intestinal mucosa integrity[J].Poultry Science,2013,92(6):1564–1571.

[17]NYAMAMBI B,NDLOVU L R,NAIK Y S,et al.Intestinal growth and function of broiler chicks fed sorghum based diets differing in condensed tannin levels[J].South African Society for Animal Science,2007,37(3):202–214.

[18]庞婧,王安.低温与维生素E对笼养蛋雏鸭生长性能、抗氧化能力及血糖血脂的影响[J].动物营养学报,2007,19(3):289–294.

[19]MANWAR S J,MANDAL A B.Effect of reconstitution of sorghum with or without enzymes on production performance and immunocompetence in broiler chicken[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2009,89(6):998–1005.

[20] 董敏,胡艳平,谭静,等.单宁在饲料中的应用与研究[J].饲料博览,2016(5):12–15.

Effects of Different Sources of Sorghum to Replace Corn on Growth Performance, Intestinal Mucosal Morphology and Serum Indices of Yellow Broilers

HU Guili YE Xiaofei WANG Yushi FAN Zhiyong ZHANG Shirui HE Xi*

（*College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Engineering*

*Corresponding author, professor, E-mail: hexi111@126.com （责任编辑 王智航）

Research Center of Feed Safety and Efficient Use of Ministry of Education, Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Changsha 410128, *China*）

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of different sources of sorghum to replace corn on growth performance, immune organ indices, intestinal morphology and serum biochemical and antioxidant indices of yellow broilers. A total of 350 healthy 1-day-old yellow broilers with similar body weight were randomly selected and allocated to 7 groups with 5 replicates per group and 10 broilers per replicate. Each group was fed one of seven different diets: basal diet (control), America sorghum, *Hunan* sorghum and Inner Mongolia sorghum replacing 30% corn, respectively, America sorghum, Hunan sorghum, Inner Mongolia replacing 50% corn, respectively. The feeding period was 56 days, divided into early stage (1 to 28 days of age) and later stage (29 to 56 days of age). The results showed as follows: 1) compared with control group, three different sources of sorghum replacing corn by 30% and 50% had no adverse effects on growth performance. 2) Compared with control group, the percentage of abdominal fat of broilers feeding *Hunan* sorghum to replace 50% corn was significantly higher (P<0.05), while other slaughter performance indices were not significantly different among groups (P>0.05). 3) At early stage, compared with control group, there were no significant differences in villus height, crypt depth and villus height/crypt depth (V/C) value in duodenum, villus height and V/C value in jejunum, and villus height and crypt depth in ileum (P>0.05); compared with control group, America sorghum replacing 50% corn significantly increased ileum V/C value (P<0.05). 4) At early stage, with the increase of the replacing proportion of Inner Mongolia sorghum and *Hunan* sorghum, serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity decreased slightly （P>0.05）; at later stage, with the increase of the replacing proportion of Inner Mongolia sorghum and *Hunan* sorghum, serum total antioxidant capacity (T-AOC) was increase, and it was significantly increased when the replacing proportion was 50% (P<0.01). In conclusion, there is no adverse effect on growth performance of yellow broilers feeding different sorghum instead of corn. The broilers feeding Inner Mongolia sorghum to replace 50% corn achieve best growth performance according to intestinal mucosa morphological and serum antioxidant indices.

Key words: yellow broilers; sorghum; growth performance; slaughter performance; intestinal mucosa morphological structure; serum indices

表 3　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of different sources of sorghum to replace corn on growth performance of yellow broilers

项目 Items		组别 Groups							P 值
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	P-value
1～28 日龄 1 to 28 days of age	末体重 FBW/g	701.8 ± 39.9^{b}	726.6 ± 32.4^{ab}	771.6 ± 45.7^{a}	757.4 ± 24.1^{a}	753.6 ± 14.5^{a}	726.0 ± 35.1^{ab}	745.2 ± 29.9^{ab}	0.042
	平均日增重 ADG/g	23.9 ± 1.4^{b}	24.8 ± 1.1^{ab}	26.4 ± 1.6^{a}	25.9 ± 0.9^{a}	25.7 ± 0.5^{a}	24.7 ± 1.3^{ab}	25.4 ± 1.1^{ab}	0.044
	平均日采食量 ADFI/g	40.0 ± 1.0^{Bc}	41.5 ± 1.6^{ABbc}	44.5 ± 1.4^{Aa}	44.1 ± 1.5^{Aa}	42.9 ± 1.1^{ABab}	42.6 ± 2.6^{ABab}	43.8 ± 2.2^{Aab}	0.003
	料重比 F/G	1.678±0.988	1.677±1.638	1.689±1.435	1.706±1.503	1.669±1.073	1.721±2.572	1.721±2.175	0.356
29～56 日龄 29 to 56 days of age	末体重 FBW/g	1 851.4±71.4	1 933.1±101.8	1 914.9±94.3	1 942.6±132.2	1 951.4±60.6	1 873.2±83.0	1 985.1±129.6	0.398
	平均日增重 ADG/g	41.1±3.5	43.1±2.7	40.8±3.1	42.3±4.5	42.8±1.8	40.9±2.5	44.3±4.1	0.592
	平均日采食量 ADFI/g	119.2 ± 5.4^{Bb}	130.3 ± 3.1^{Aa}	128.5 ± 2.6^{Aa}	127.8 ± 4.0^{Aa}	127.6 ± 1.9^{Aa}	129.1 ± 2.0^{Aa}	131.4 ± 3.4^{Aa}	0.0002
	料重比 F/G	2.913±0.153	3.032±0.149	3.158±0.182	3.040±0.234	2.986±0.084	3.160±0.193	2.983±0.192	0.258
1～56 日龄 1 to 56 days of age	平均日增重 ADG/g	32.5±1.3	33.9±1.8	33.6±1.7	34.1±2.3	34.3±1.1	32.9±1.5	34.9±2.3	0.394
	平均日采食量 ADFI/g	79.6 ± 2.2^{Bb}	85.9 ± 2.2^{Aa}	86.5 ± 1.6^{Aa}	86.0 ± 2.3^{Aa}	85.3 ± 1.1^{Aa}	85.8 ± 1.3^{Aa}	87.6 ± 2.4^{Aa}	<0.001
	料重比 F/G	2.453 ± 0.063^{b}	2.536 ± 0.092^{ab}	2.577 ± 0.080^{ab}	2.527 ± 0.112^{b}	2.491 ± 0.053^{b}	2.654 ± 0.087^{a}	2.518 ± 0.097^{b}	0.046

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（$P>0.05$），不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，不同大写字母表示差异显著($P<0.01$)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference （$P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

表 4　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡屠宰性能的影响

Table 4　Effects of different sources of sorghum to replace corn on slaughter performance of yellow broilers

项目 Items	组别 Groups	P 值

	I	II	III	IV	V	VI	VII	*P*-value
活体重 Live body weight/g	1 823.6±70.6	1 858.8±103.8	1 910.4±65.3	1 940.2±79.0	1 963.0±87.5	1 873.6±130.9	1 950.0±146.2	0.282
屠宰率 Dressing percentage/%	90.63±0.52	90.55±1.18	90.22±0.30	90.46±0.60	90.50±0.28	90.58±0.69	90.72±1.08	0.964
全净膛率 Eviscerated carcass percentage/%	68.85±0.60	69.83±1.12	69.38±1.40	70.65±1.57	70.24±3.08	70.17±2.58	69.39±2.25	0.807
胸肌率 Pectoral muscle percentage/%	14.39±2.39	15.64±1.78	14.43±1.91	15.40±2.14	14.90±0.78	14.09±1.07	15.82±1.84	0.634
腿肌率 Leg muscle percentage/%	22.21±1.82	20.7±1.23	21.60±1.33	21.88±2.22	20.57±1.20	20.14±2.33	21.86±0.76	0.358
腹脂率 Abdominal fat percentage/%	2.44±0.79^{b}	2.99±0.43^{b}	3.58±0.45^{ab}	3.16±1.22^{b}	2.75±1.57^{b}	4.84±1.02^{a}	3.62±0.40^{ab}	0.029

表 5　不同来源高粱替代玉米对前期黄羽肉鸡肠道形态的影响

Table 5　Effects of different sources of sorghum to replace corn on gut morphology of yellow broilers at early stage

项目 Items		组别 Groups							*P* 值 *P*-value
		I	II	III	IV	V	VI	VII	
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 Villus height/μm	779.91±127.75	860.91±219.78	765.84±154.41	735.19±184.79	931.62±190.35	849.45±258.46	867.00±220.93	0.722
	隐窝深度 Crypt depth/μm	112.14±11.27	118.40±16.95	116.72±10.10	120.80±7.22	118.39±9.38	120.36±15.07	119.82±10.92	0.928
	绒毛长度/隐窝深度 V/C	6.94±0.76	7.29±1.83	6.55±1.16	6.09±1.49	7.86±1.42	7.03±2.05	7.21±1.61	0.667
空肠 Jejunum	绒毛高度 Villus height/μm	901.00±188.34	1 047.70±292.09	831.10±279.97	855.90±146.72	992.84±113.06	953.75±148.80	918.07±154.65	0.635
	隐窝深度 Crypt depth/μm	117.92±19.47^{ABbc}	144.45±20.80^{Aa}	99.89±16.27^{Bc}	117.9613.13^{ABbc}	124.62±9.73^{ABb}	116.97±7.50^{ABbc}	121.59±12.00^{ABb}	0.006
	绒毛长度/隐窝深度 V/C	7.81±1.96	7.20±1.48	8.14±1.66	7.29±1.23	8.06±1.57	8.15±1.18	7.58±1.30	0.904
回肠 Ileum	绒毛高度 Villus height/μm	688.39±64.54	711.82±169.99	601.95±303.41	770.21±62.17	808.84±84.45	670.22±161.78	746.17±163.70	0.526
	隐窝深度 Crypt depth/μm	111.04±11.88	116.69±22.79	89.71±41.10	116.87±12.91	101.21±13.20	117.57±24.45	109.98±5.75	0.381
	绒毛长度/隐窝深度 V/C	6.24±0.76^{b}	6.13±1.28^{b}	6.81±1.26^{b}	6.68±1.04^{b}	8.74±1.02^{a}	6.85±0.80^{b}	7.56±0.56^{ab}	0.014

表 6　不同来源高粱替代玉米对黄羽肉鸡血清生化和抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of different sources of sorghum to replace corn on serum biochemical and antioxidant indices of yellow broilers

项目 Items		组别 Groups							*P* 值 *P*-value
		I	II	III	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ	
28 日龄 28 days of age	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	712.20±51.52^{abc}	696.60±109.12^{abc}	694.88±211.52^{abc}	798.75±156.30^{ab}	912.00±227.40^{a}	536.10±113.78^{c}	548.70±253.67^{bc}	0.029
	总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	12.65±3.45	11.50±3.20	12.86±4.00	13.74±2.85	8.50±1.47	12.77±8.90	12.21±5.52	0.737
56 日龄 56 days of age	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	696.90±118.02	847.20±199.22	848.40±292.03	797.00±455.67	628.20±108.92	632.63±177.26	1 028.10±647.28	0.523
	总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	13.25±1.69^{Bc}	13.10±1.72^{Bc}	17.19±2.03^{ABab}	15.35±0.98^{ABbc}	15.61±4.13^{ABbc}	19.46±1.50^{Aa}	18.65±3.05^{Aab}	0.004
	碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	319.12±78.97	368.16±196.64	557.47±267.92	304.44±49.51	566.86±201.93	385.32±86.22	439.24±237.11	0.211
	尿酸 UA/(μmol/L)	101.44±48.92	104.37±27.55	136.60±105.27	94.40±25.65	129.65±77.56	156.58±31.64	164.45±42.32	0.553

表 7 不同来源高粱替代玉米的经济效益分析

Table 7 Analysis of economic benefit of different sources of sorghum to replace corn

项目 Items		组别 Groups						
		I	II	III	Ⅳ	V	Ⅵ	Ⅶ
1~28 日龄 1 to 28 days of age	饲料成本 Feed cost/(RMB/kg)[1)]	3.01	2.93	2.91	2.87	2.87	2.84	2.77
	增重 Weight gain/g	669.2	694.4	739.2	725.2	719.6	691.6	711.2
	料肉比 F/M	1.678	1.677	1.689	1.706	1.669	1.721	1.721
29～56 日龄 29 to 56 days of age	饲料成本 Feed cost/(RMB/kg)[1)]	2.94	2.86	2.84	2.80	2.80	2.77	2.71
	增重 Weight gain/g	1 150.8	1 206.8	1 142.4	1 184.4	1 198.4	1 145.2	1 240.4
	料肉比 F/M	2.91	3.03	3.16	3.04	2.99	3.16	2.98
死淘率 Mortality/%		4	4	4	2	2	2	4
每 100 羽利润 Profit per 100 broilers/RMB[2)]		509.23	539.20	518.05	621.23	648.24	562.39	645.01

与Ⅰ组的利润差 Profit difference with group Ⅰ/%[3]	↑5.89	↑1.73	↑21.99	↑27.29	↑10.44	↑26.66

[1]饲料成本以原料市场价计算而得，肉鸡价格按照市场价格，信息来源中国饲料行业信息网 2014 年 10 月报价信息。Feed cost was calculated according to market price of ingredients, broilers price was market price, and all the information was from China feed industry information network (price of Oct., 2014).

[2]每 100 羽利润即每 100 羽黄羽肉鸡售价减去饲料以及鸡苗成本后所获得的利润，根据鸡苗价格 3.00 元/羽，黄羽肉鸡 12.00 元/kg，根据单位增重成本以及单位增重效益计算出来的利润。Profit per 100 broilers was the price of per 100 broilers subduce

[3]以每 kg 增重为基础计算，“↑”表示增加。Calculated based on per kg of weight gain, and ‘↑’ indicated increase.